

Mejora de las Características de Antenas usando Superestratos Parche-Eslot-Parche (PSP)

D. Betancourt, A. Ibañez, C. del Río
Grupo de Antenas. Universidad Pública de Navarra
Campus Arrosadía. 31006, Pamplona, España
Carlos@unavarra.es

Abstract—In this paper the novel Patch-Slot-Patch (PSP) structure is presented. The frequency resonant characteristics of this structure are calculated and measured. Gain enhancement of 15 dB is obtained for PSP structure as Superstrate of a microstrip patch antenna. A grating lobe reduction of more than 16 dB is observed for a PSP structure applied over a 3x1 linear array.

Index Terms—Patch-Slot-Patch (PSP), Electromagnetic Band Gap (EBG), Frequency Selective Surface (FSS)

INTRODUCCIÓN

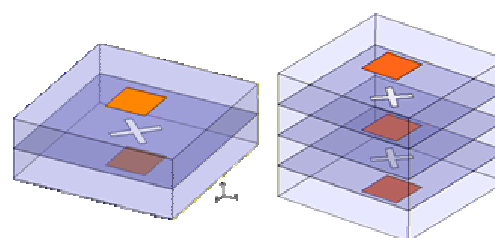
Las mejoras de características de antenas por medio del uso de superestratos ha sido materia de recientes estudios. El aumento de la Ganancia, Aislamiento a la polarización cruzada, reducción de lóbulos laterales y Grating Lobes, son algunos ejemplos del potencial de esta tecnología en el campo de antenas.

Recientemente, algunos investigadores han usado estructuras bien conocidas como superestratos. Por ejemplo, Estructuras EBG como son los Dielectric Rods [1]-[4] y Woodpiles [5], estructuras FSS como los Strip Dipoles [6] y Loaded Wires [7], cavidades Fabry-Perot [8]-[10] o, inclusive, se han usado placas dieléctricas para este propósito, como puede verse en [11]-[14]. En la mayoría de estos trabajos, el uso de la antena en conjunto con el superestrato da como resultado la mejora de las características básicas de la antena. Sin embargo, en la práctica los EBG, FSS y las Cavidades Fabry-Perot son difíciles de construir y los sustratos Dieléctricos no ofrecen las mejoras de las otras estructuras.

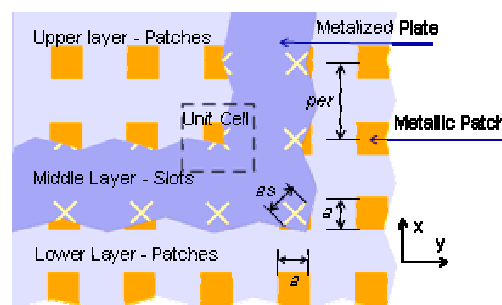
La estructura Parche-Eslot-Parche (PSP), mostrada en la Fig. 1, es una nueva estructura fácil de construir, basada en tecnología plana. La estructura PSP está compuesta por dos parches enfrentados que comparten un plano de masa común en el que se halla una apertura en forma de cruz que acopla el campo electromagnético de un parche al otro. Estructuras similares fueron estudiadas en trabajos anteriores [15], [16]. En estos papeles este tipo de estructura es caracterizada como un FSS debido a su comportamiento como filtro.

El objetivo de este trabajo no es solo el de caracterizar la estructura PSP sino también el de mostrar algunas aplicaciones de la misma en el campo de antenas.

Este estudio comienza examinando las características básicas en frecuencia de la estructura PSP de 1 y 2 capas, usando simulaciones de celda unitaria, en vez de estructuras finitas, para así salvar tiempo en el proceso. Un prototipo fue construido y medido para corroborar los datos de simulación.



(a)



(b)

Fig. 1. Estructura Parche-Eslot-Parche (PSP). (a) Vista 3D de la estructura de 1 y 2 capas. (b) Vista superior.

Luego de discutir las características en frecuencia de la estructura, se usa la estructura PSP en conjunto con una antena tipo parche, obteniendo una mejora en directividad cercana a los 15 dB.

Finalmente, se estudia las características de radiación de un array 3x1 de parches con la estructura PSP de 1-capa, y se comparan los resultados con aquellos obtenidos para el array 3x1 solo. Se demuestra que una reducción de los Grating Lobes de más de 16 dB y un aumento de la directividad de 8 a 12 dB puede ser obtenida usando la estructura PSP sobre el array.

ESTRUCTURA PSP

En esta sección se describirán algunas características de la celda unitaria de la estructura PSP y se presenta una metodología para el diseño de versiones de la estructura PSP de 1 y 2 capas.

La estructura PSP básica (1-capa) está formada por la unión de dos arrays de parches cuadrados enfrentados con un array de aperturas en forma de cruz en medio. Los arrays de parches y el array de aperturas en forma de cruz están sobre las caras de un sustrato dieléctrico como es mostrado en la Fig. 1a. Es por esta configuración básica que la estructura recibe su nombre, esto es, la celda unitaria de la estructura está formada por un parche

seguido por una apertura en forma de cruz seguido por otro parche, formando la estructura PSP. De esta forma, se pueden construir estructuras de mas capas, por ejemplo, una estructura PSP de 2 capas es formada por la adición de una apertura en forma de cruz y un parche cuadrado a la estructura PSP de 1-capa, como también se muestra en la Fig. 1a. Estructuras de orden superior son construidas siguiendo el mismo procedimiento visto anteriormente. La periodicidad de la estructura es determinada por el largo de la celda unitaria.

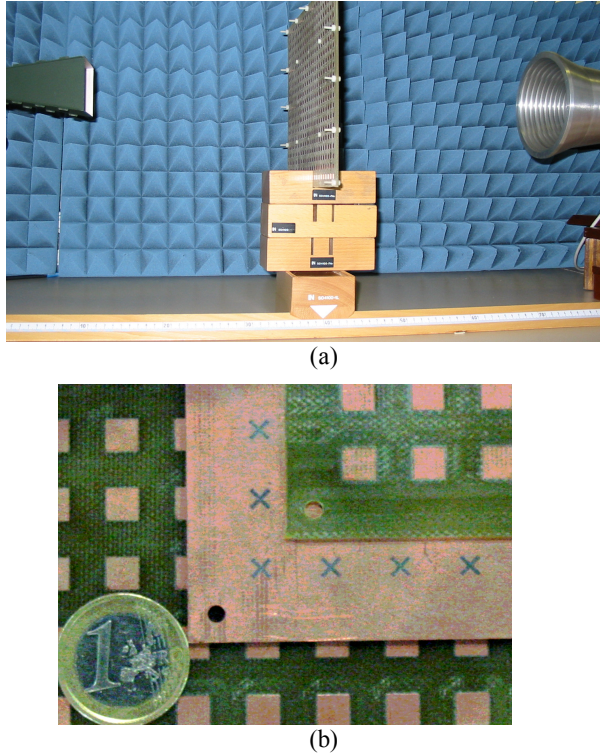


Fig. 2. Setup Experimental para las medidas de la estructura PSP. (a) Estructura PSP entre dos antena Horn. (b) Prototipo fabricado para la estructura PSP de 1-capa .

Tabla 1. Ganancia medida para varas configuraciones de la estructura PSP como cobertura de una antena parche

Frec. (GHz)	8.2	8.22	8.36	8.68	8.82	8.98
L (mm)	14	13.7	13.5	12.5	12	11.5
Mejora en Ganancia (dB)	14.49	11.38	14.86	10.3	10.82	11.072

Para implementar la estructura PSP se usa un sustrato dieléctrico de Fibra de Vidrio ($\epsilon_r = 4.5$, Tangente de perdidas = 0.002, grosor = 1.6mm), los parches son cuadrados de dimensiones $a_p = 5.5\text{mm}$, la apertura en forma de cruz tiene parámetros $a_s = 4.4\text{mm}$ de largo y $b_s = 0.8\text{mm}$ de ancho y esta rotada 45 grados desde el eje X, la periodicidad de repetición de la celda unidad es $p = 12\text{mm}$.

Se calcularon los Parámetros de Coeficientes de Transmisión para la estructura de 1 y 2 capas usando el software comercial Ansoft HFSS y Ansoft DESIGNER. Fue fabricado un prototipo para confirmar la existencia de las características pronosticadas, el cual consistía en un

arreglo de 20×24 celdas unitarias. Se midió la transmisión a través del prototipo para una incidencia normal.

El prototipo y el setup experimental para este experimento se muestran en la Fig. 2 y consiste de dos antenas horn de microondas ubicadas a cada lado de la estructura PSP, el rango de medición va desde 8.5 a 14 GHz. La longitud total de la estructura PSP es $26 \times 30\text{ cm}$. Los resultados medidos se presentan en la Fig. 3 confirmando la existencia de la banda de transmisión de aproximadamente 2GHz para las estructuras PSP de 1 y 2 capas.

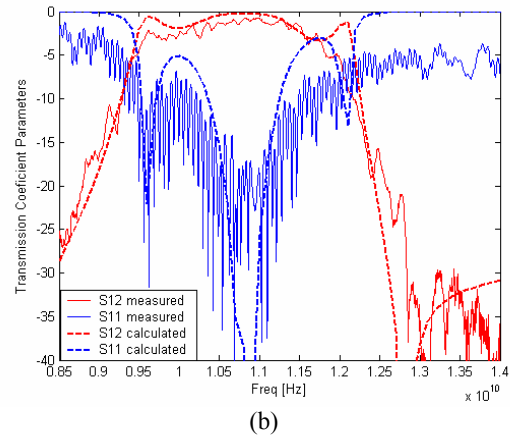
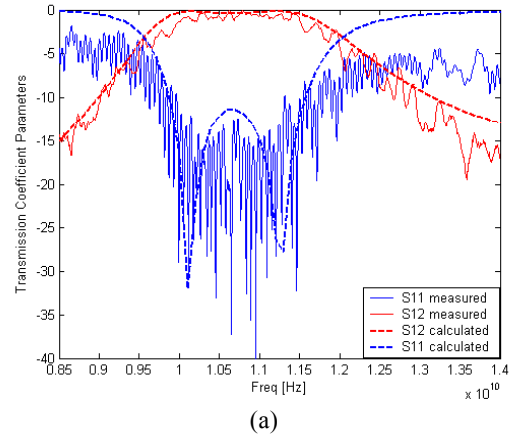


Fig. 3. Parámetros de Coeficientes de Transmisión calculados y medidos para (a) Estructura PSP 1-capa y (b) Estructura PSP 2-capas.

APLICACION DEL SUPERESTRATO PSP EN ANTENAS TIPO PARCHES

Una vez confirmadas las características en frecuencia de las estructuras PSP se está interesado en investigar los usos de esta nueva estructura. En esta sección se muestra la aplicación de la estructura PSP a antenas tipo parche y a arrays de antenas con Grating Lobes.

Inicialmente se debe estudiar el efecto del plano de masa de las de la antena tipo parche debido a su proximidad a la estructura PSP. El conjunto de la antena tipo parche y la estructura PSP debe ser visto como un resonador. A causa de los efectos de resonancia introducidos por la proximidad del plano de masa a la estructura PSP se asume que las características en frecuencia de este conjunto es fuertemente dependiente a

la distancia entre la estructura PSP y la antena tipo parche (L).

Para las aplicaciones de la estructura PSP como superestrato mostradas a continuación se ha considerado L como la principal variable de funcionamiento.

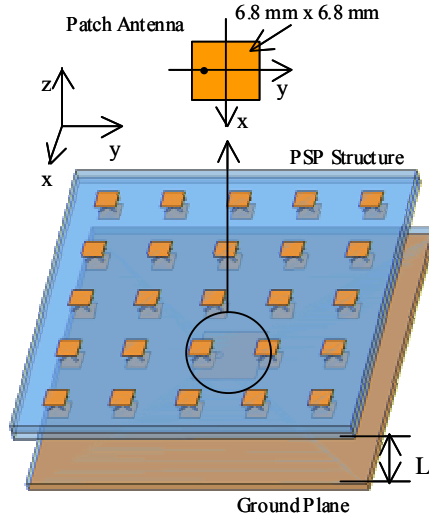


Fig. 4. Conjunto de estructura PSP con Antena tipo Parche.

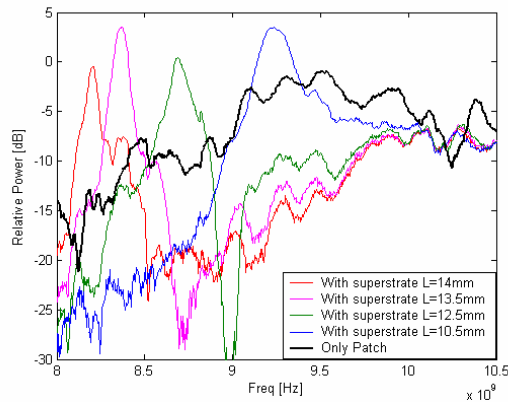


Fig. 5. Potencia relativa medida para un superestrato PSP sobre una antena tipo parche para varios valores de L.

Superestratos PSP para la Mejora de Directividad de una Antena Tipo Parche.

Una vez entendido el comportamiento resonante de la estructura PSP se procede al estudio del funcionamiento de estas estructuras como superestratos para antenas tipo parche.

En la sección anterior se investigó el comportamiento en frecuencia y efectos del plano de masa sobre la estructura PSP. También se seleccionaron las dimensiones de los elementos de la estructura PSP, así como, la frecuencia de trabajo de la antena resonante.

La configuración de la estructura PSP de 1-capa y la antena resonadora se muestra en la Fig. 4. la antena parche es alimentada desde abajo por medio de un cable coaxial y es montada sobre un sustrato dieléctrico de Fibra de Vidrio que tiene un área igual al de la estructura PSP y un grosor de 1.6mm.

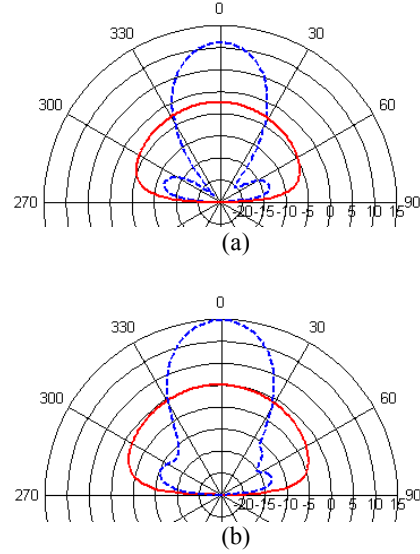


Fig. 6. Comparación de los patrones de radiación para una antena tipo parche con superestrato (en azul) con una antena tipo parche sola (en rojo) (a) FREQ = 8.4, L = 13mm. (b) Freq. = 8.1, L = 14mm.

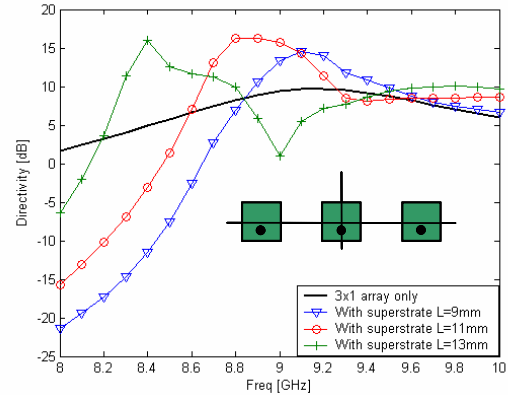


Fig. 7. Directividad calculada para una estructura PSP como cubierta de un array lineal vs. frecuencia, para varias distancias (L) comparado con un array lineal solo.

Localizada L mm encima del parche esta la estructura PSP analizada anteriormente. Como se mencionó previamente, en la estructura PSP, los parches son de 5.5mm X 5.5mm, las aperturas en forma de cruz son de 4.4mm X 0.8mm rotadas 45 grados y el periodo es 12mm. La distancia L es definida como variable para investigar su efecto resonante sobre el conjunto de la estructura PSP con la antena parche.

Las variaciones para la potencia relativa medida para el conjunto PSP 1-capa y antena son mostrados en la Fig. 5 para cuatro diferentes valores de L (L= 10.5mm, L= 12.5mm, L=13.5mm y L=14mm). El prototipo de la estructura PSP consta de 20x24 celdas unitarias. Se observa que la Potencia Relativa de la estructura conjunta es incrementada a medida que la distancia L crece. La máxima mejora medida obtenida por este medio es de aproximadamente 15 dB cuando la distancia L es 13.5mm. En la Tabla I están resumidas las máximas mejoras alcanzadas para varios valores de la distancia entre la estructura PSP y la antena tipo parche.

Tabla 2. Comparación de las características de los patrones de radiación para un array 3x1 con y sin superestrato.

Freq. (GHz)	Without Superstrate			With Superstrate					
	Max. Directivity (dB)	Side Lobe level (dB)	Grating Lobe Level (dB)	Max. Directivity (dB)	Side Lobe level (dB)	Grating Lobe level (dB)	Gain Improvement (dB)	Grating Lobe reduction (dB)	L (mm)
9.1	9.62	-10,93	-6,4	14.45	-14,88	-19,59	4.83	8.36	9
8.9	8.74	-10,94	-6,83	16.28	-18,41	-30,9	7.54	16.53	11
8.4	4.72	-10,89	-7,76	16.03	-22,15	-33,75	11.31	14.68	13

Para simular la estructura conjunta se usa Ansoft DESIGNER. En este caso, la antena tiene una frecuencia de resonancia de 9.2 GHz y la directividad de la antena sin superestrato varía entre -5db y 5 dB desde 8 a 11 GHz. Los patrones de radiación calculados para el conjunto del PSP y la antena son mostrados en la Fig. 6 para varios valores de L.

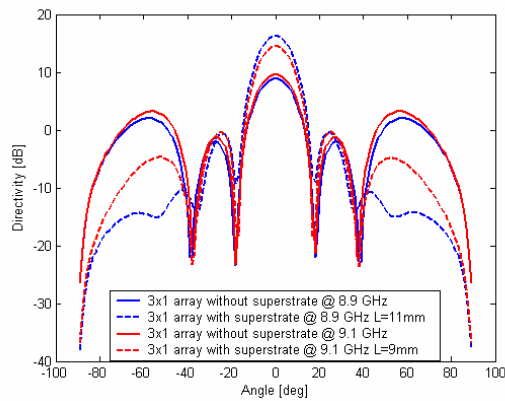


Fig. 8. Comparación de los patrones de radiación de un array 3x1 con y sin superestrato para 8.9 y 9.1 GHz y separación de cobertura de 9 y 11mm.

Superestratos PSP para reducción de Grating Lobes e Incremento de Directividad de un Array

En el diseño de array de antenas, algunas veces, es imposible unir más los elementos que la componen, i.e. array de antenas horn. En estos casos la distancia entre los elementos puede ser mayor que λ_0 . Esta distancia permite la aparición de Grating Lobes en el patrón de radiación. En esta sección se presenta una aplicación de superestructuras PSP para reducir los Grating Lobes de un array de antenas.

Se usa una estructura PSP 1-capa como filtro angular espacial para reducción de Grating Lobes específicamente una estructura PSP de 5x11 periodos. Los elementos del array de antenas 3x1 están alineados con el plano H, con una separación entre elementos de 36mm, que es $1.09\lambda_0$ a 9.1GHz, $1.07\lambda_0$ a 8.9GHz y $1\lambda_0$ a 8.4GHz. Esta configuración se muestra como inserto en la Fig. 7.

Se introducen Grating Lobes en el patrón de radiación a causa de la selección del espaciamiento. La Fig. 7 muestra las directividades de un array 3x1 con y sin superestrato PSP, como función de la frecuencia. La directividad del array con superestrato es incrementada por cerca de 4 a 12 dB para varios rangos en frecuencia.

La Fig. 8 muestra una comparación de los patrones de radiación para un array de antenas 3x1 con y sin

estructura PSP a 8.9 y 9.1GHz. Se observa que la inclusión de la estructura PSP aumenta la directividad del array de parches 3x1 aproximadamente por 8 a 10 dB y reduce los Grating Lobes por aproximadamente 16dB cuando la distancia entre la estructura PSP y el array es 11mm a 8.9GHz. La tabla II resume varios resultados obtenidos en función del cambio de L (distancia entre la estructura PSP y el array).

CONCLUSIONES

En este artículo se presenta una nueva estructura fácil de construir usada para la mejora de las características de radiación de antenas. La estructura PSP fue introducida como superestrato para un tipo de antenas. Sus características frecuenciales fueron calculadas y medidas. El efecto de introducir un plano de masa cerca de la estructura fue también analizado y las dimensiones de diseño para un prototipo fueron dadas y usadas en unión con antenas tipo parche.

Así mismo, se presentaron dos aplicaciones de la estructura PSP como superestrato de antenas i) Superestrato para una antena tipo parche, y ii) una cubierta para un array de antenas para suprimir los Grating Lobes. Se demostró que es posible alcanzar alguna mejora en directividad en antenas tipo parche y array de antenas. Una estructura PSP fue diseñada para suprimir exitosamente los Grating Lobes presentes en un array lineal 3x1.

REFERENCIAS

- [1]P. de Maagt, R. Gonzalo, Y. C. Vardaxoglou, J. M. Baracco, "Electromagnetic Bandgap Antennas and Components for Microwave and (Sub) Millimeter Wave Applications," IEEE Trans. Antennas Propag., vol, 51, No. 10, pp. 2667-2675, Oct. 2003.
- [2]Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mitra, W. S. Park, "Application of Electromagnetic Bandgap (EBG) Superstrates With Controllable Defects for a Class of Patch Antennas as Spatial Angular Filters," IEEE Trans. Antennas Propag., vol, 53, No. 1, pp. 224-235, January 2005.
- [3]C.Cheype, C. Serier, M. Thevenot, T. Monediere, A. Reineix, B. Jecko, "An Electromagnetic Band Gap Resonator Antenna," IEEE Trans. Antennas Propag., vol, 50, No. 9, pp. 1285-1290, Sept. 2002.
- [4]M. Thevenot, M. S. Denis, A. Reineix, B. Jecko, "Design of a new Photonic Cover to Increase Antenna Directivity," Microw. and Opt. Tech. Letters, Vol. 22, No. 2, pp. 136-139, July 1999.
- [5]A.R. Weily, L. Horvanth, K. P. Esselle, B. Sanders, and T. S. Bird, "A planar Resonator Antenna Based on a Woodpile EBG Material," IEEE Trans. Antennas Propag., vol, 53, No. 1, pp. 216-223, January 2005.
- [6]Y. J. Lee, J. Yeo, R. Mitra, W. S. Park, "Design of a High-Directivity Electromagnetic Band Gap (EBG) Resonator

- Antenna using a Frequency Selective Surface (FSS) Superstrate," *Microw. And Opt. Tech. Letters*, Vol. 43, No. 6, pp. 462-467, Dec. 2004.
- [7] P. Ikonen, C. Simovski, S. Tretyakov, "Compact Directive Antennas with a Wire-Medium Artificial Lens," *Microw. And Opt. Tech. Letters*, Vol. 43, No. 6, pp. 467-469, Dec. 2004.
 - [8] A. P. Feresides, G. Goussetis, S. Wang, J. Vardaxoglou, "Artificial Magnetic Conductor Surfaces an their Application to Low-Profile High-Gain Planar Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol, 53, No. 1, pp. 209-215, January 2005.
 - [9] R. Sauleau, P. Coquet, T. Matsui, J. P. Daniel, "A New Concept of Focusing Antennas Using plane-Parallel Fabry-Perot Cavities With Nonuniform Mirrors," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol, 51, No. 11, pp. 3171-3175, Nov. 2003.
 - [10] G. Benelli, S. Enoch, G. Tayeb, P. Vincent, J. M. Geffrin, P. Sabouroux, H. Legay, "Resonant Cavity Antennas," 27th ESA Antenna technology workshop. Spain, 2004.
 - [11] X. H. Shen, P. Delmotte, G. Vandenbosch, "Enhancing the Gain of Microstrip Antennas at Different Frequencies with ones Sustrate-Superstrate Structure," *Microw. And Opt. Tech. Letters*, Vol. 27, No. 1, pp. 37-40, Oct. 2000
 - [12] W. Choi, Y. H. Cho, C. S. Pyo, J. I. Choi, "A High-Gain Microstrip Patch Array Antenna using a Superstrate Layer," *Etri journal*, Vol. 25, No. 5, pp. 407-411, Oct. 2003.
 - [13] X. H. Shen, P. Delmotte, G. Vandenbosch, "Effect of Superstrate on Radiated Field of Probe Fed Microstrip Patch Antenna," *IEE Proc. Microw. Antennas Propag.*, Vol. 148, No. 3, June 2001.
 - [14] Y. Ju Lee, S. H. Jeong, W. S. Park, J. S. Yun, S. I. Jeon, "Multilayer Spatial Angular Filter With Air Gap Tuners to Suppress Grating Lobe of 4x1 Array Antenna," *Elect. Letters*, Vol. 39, No. 1, pp. 15-17, January 2003.
 - [15] R. Pous, D. Pozar, "A Frequency Selective Surface Using Aperture-Coupled Microstrip Patches," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol, 39, No. 12, pp. 1763-1769, Dec. 1991.
 - [16] A. Abbaspour, K. Sarabandi, G. Rebeiz, "Antenna-Filter-Antenna Arrays as a Class of Bandpass Frequency-Selective Surfaces," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol, 52, No. 8, pp. 1781-1788, Aug. 2004.